



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY OLYMPIJSKÉ OSY

DESIGN OF PRODUCTION TECHNOLOGY FOR THE OLYMPIC BAR

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matěj Bělunek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Matúš Varhaník

BRNO 2019



Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Matěj Bělunek**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Matúš Varhaník**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh technologie výroby olympijské osy

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce se zabývá rešeršní činností dostupných olympijských tyčí na trhu, definicí materiálů vhodných pro jejich výrobu a následnou povrchovou úpravou. Autor práce navrhne technologii výroby zvoleného produktu a nadefinuje potřebné strojní a nástrojové vybavení. Závěr práce bude obsahovat technicko-ekonomické hodnocení zvolené technologie výroby.

Cíle bakalářské práce:

- Rešeršní činnost řešené problematiky.
- Volba vhodného materiálu polotovaru.
- Návrh vlastní technologie výroby.
- Technicko-ekonomické hodnocení.

Seznam doporučené literatury:

Příručka obrábění: kniha pro praktiky. Praha: Scientia, 1997. ISBN 91-972-2994-6.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. Praha: MM Publishing, 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.

SHAW, Milton Clayton. Metal cutting principles. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 978-019-5142-068.

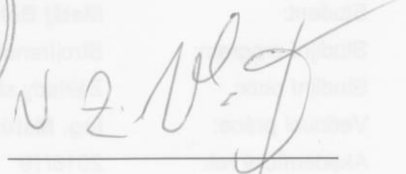
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018



prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu





doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je navrhnout technologii výroby olympijské osy. Navrhnuty jsou dva typy technologií výroby, a to konvenční a modernizovaný. Konvenční výroba je realizována na univerzálním hrotovém soustruhu, modernizace převádí produkci na CNC soustruh. Hlavním výstupem je, mimo projektu samotné výroby, porovnání a technicko-ekonomické zhodnocení návrhů technologie výroby. V rámci práce jsou zhotoveny výkresové dokumentace a technologické postupy.

Klíčová slova

olympijská osa, soustružení, technologie výroby, modernizace výroby

ABSTRACT

Goal of this bachelor thesis is to design production technology for the olympic bar. Two types of manufacturing are proposed, conventional and modernized. Conventional production is carried out on an universal center lathe, modernization converts production to CNC lathe. The main output, besides the manufacturing design itself, is the comparison and technical-economic evaluation of the production technologies. Thesis includes documentation and technological processes.

Key words

Olympic bar, turning, production technology, production modernization

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BĚLUNEK, Matěj. Návrh technologie výroby olympijské osy. Brno, 2019. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117213>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Matúš Varhaník.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh technologie výroby olympijské osy** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Matěj Bělunek

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto svému vedoucímu, pan Ing. Matúš Varhaník, za ochotu, cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování diplomové práce. Chtěl bych také poděkovat mým blízkým za jejich podporu během mého studia.

OBSAH

ABSTRAKT	4
ABSTRACT	4
PROHLÁŠENÍ	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH	7
ÚVOD	9
1 OLYMPIJSKÁ OSA	10
2 POPIS SOUČÁSTI	11
2.1 Materiál	11
2.2 Rukávy	11
2.3 Ložiska	11
2.4 Vlastnosti rýhování	12
3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ	14
3.1 Nakupované díly	14
3.2 Vyráběné díly	15
4 VOLBA MATERIÁLU	16
4.1 Materiál tyče	16
4.2 Materiál rukávu a dorazu	17
5 POVRCHOVÁ ÚPRAVA	18
5.1 Elektrochemické (galvanické) vylučování kovových povlaků	18
5.2 Galvanické chromování	18
6 VOLBA POLOTOVARU	19
6.1 Dělení polotovaru	19
7 VOLBA STROJNÍHO VYBAVENÍ	21
7.1 OMI 385	21
7.2 Univerzální hrotový soustruh TRENS řady SN 50 C	22
7.3 CNC horizontální soustružnické centrum SL 60-2S	23
8 VOLBA NÁSTROJŮ	24
8.1 Konvenční	24
8.2 CNC	25
9 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI	26
10 VÝPOČET STROJNÍHO ČASU	28
10.1 Soustružení	28
10.2 Řezání	29
11 NÁVRH KONVENČNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY	30

11.1	Tyč	30
11.2	Rukáv	31
11.3	Doraz	31
11.4	Svarek	32
12	NÁVRH CNC TECHNOLOGIE VÝROBY	33
12.1	Tyč	33
12.2	Rukáv	33
12.3	Doraz	34
12.4	Svarek	34
13	TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	35
14	ZÁVĚR.....	39
	Seznam použitých zdrojů.....	40
	Seznam použitých symbolů a zkratk	43
	Seznam příloh	44

ÚVOD

Touha po tom být nejsilnější ze všech a být schopen zvednout těžší věc než ten druhý, nás provází už od útlého věku. S tím souvisí samotná podstata sportu, která má kořeny právě v dětské soutěživosti a chtíči po tom být nejlepší mezi svými vrstevníky. Díky tomuto jsou silové sporty nedílnou součástí například Olympijských her. Moje záliba ve sport, posilování a techniku mě vedla k řešení této bakalářské práce, která se zabývá technologií výroby olympijské osy ke vzpírání.

První část práce se věnuje obecnému popisu olympijské osy, respektive osy jako takové. Je popsáno její využití, některé používané typy a hlavní prvky a vlastnosti osy, které definují její účel. Čtenář je, skrze tyto úvodní kapitoly, seznámen s problematikou os na posilování a má možnost se dozvědět, co ovlivňuje navrhování řešení výroby olympijské osy.

V druhé části je navrženo konstrukční řešení součásti, nadefinuje se materiál a povrchová úprava použitá pro výrobu osy. Volba materiálu je jeden z hlavních elementů součásti, která by mohla být řešena samostatně v rámci jiné práce. Cílem této bakalářské práce je ale technologie výroby, tudíž je materiál pouze zvolen s krátkým odůvodněním.

Hlavní pasáží je návrh technologie výroby. Navrhnuty jsou dva typy technologií výroby, a to konvenční a modernizovaný. Součást je relativně tvarově a technologicky jednoduchá, proto je výrobu možné uskutečnit i na konvenčních strojích. Hlavním strojem je univerzální hrotový soustruh, na kterém je provedena většina operací. Dalšími stroji jsou pásová pila, sloužící k dělení polotovarů a svářečka ke sváření dvou vyráběných dílů. I přes malou složitost výroby má modernizace smysl. Univerzální hrotový soustruh nahradí horizontální CNC soustruh. Ten by měl podstatně zkrátit výrobní časy, ale i dále zjednodušit výrobu a zkvalitnit konečný produkt.

Hlavním výstupem bakalářské práce je, mimo projektu samotné výroby, porovnání a technicko-ekonomické zhodnocení návrhů technologie výroby. Porovnáním je zjištěno, jak velké výhody CNC soustruh přináší. Zhodnocení je zaměřeno na časovou úsporu a na návratnost investice při volbě modernější varianty výroby.

1 OLYMPIJSKÁ OSA



Obr. 1.1 Olympijská osa Eleiko (převzato z [3]).

Olympijská osa (příklad obr. 1.1), respektive osa, je sportovní nářadí používané například v rámci kondičního tréninku, vzpírání, silového trojboje a dalších sportovních disciplín. Osa sestává z dlouhé tyče, na kterou se na konce nasazují závaží tvaru kotoučů viz obr. 1.1. [1]

Existuje řada typů os, ať už určením pro muže a ženy, nebo liší se rozměry, váhou či samotným tvarem [1], [2]:

- Osy určené pro silový trojboj,
- pro vzpírání,
- pro mrtvý tah,
- pro bench-press (soupažný tlak v lehu na rovné lavici s velkou činkou),
- pro bicepsový zdvih a další.

Tato bakalářská práce se zaměřuje na mužskou olympijskou osu, která je specifikována Mezinárodní vzpěračskou federací (IWF, *International Weightlifting Federation*).

2 POPIS SOUČÁSTI

Olympijská osa se skládá z několika prvků, které definují její využití a vlastnosti. Tyto prvky, jako například druh tyče, materiál, uložení rukávu, rýhování, se u výroby a konstrukčního řešení volí na základě požadavků užití dané osy a také na základě zákaznických preferencí. [3]

2.1 Materiál

Materiál tyče je nejdůležitější faktor celé osy. Na základě volby materiálu se určí, jak se bude osa během vykonávání cviků chovat, tudíž stanoví, k jakému typu cvičení by se měla osa používat. Vzpírání se dá charakterizovat jako úkon s velkým silovým výstupem, který přenáší značné namáhání při zvýšených rychlostech na osu. Působení těchto sil blízko středu osy a uložení kotoučových závaží na koncích vyvolává podstatné ohybové momenty, které deformují osu. Tato deformace je ovšem často žádoucí, protože sportovci využívají pružnosti osy k úspěšnému provedení cviku. Z tohoto důvodu výrobci kladou důraz na volbu, popřípadě výzkum, materiálů určených k výrobě jejich os. [4]

Elastická deformaci osy, ke které dochází při výkonu cviku, se říká „whip“ (do češtiny by se dalo přeložit jako „švih“). Velikost whipu se řídí právě materiálem tyče. Podle druhu osy a jejího určení je třeba zvolit správnou intenzitu whipu, respektive správný materiál. Základní rozdíl bývá mezi osami používanými na vzpírání a silový trojboj. Od osy na vzpírání se vyžaduje větší whip a naopak u silového trojboje menší až žádný whip. Whip řešené olympijské osy musí být značný a tím se bude řídit volba materiálu. [2], [3]

2.2 Rukávy

Osa je opatřené tzv. rukávy, které mají možnost se otáčet na tyči díky ložiskům, na kterých jsou uloženy. Tato rotace napomáhá ke snadnějšímu provedení určitých cviků. Nebýt toho prvku, moment kotoučů by například při cviku, nazývaném trh soupažný, přetácel sportovci zápěstí, čímž by vykonávání cviku výrazně ztížil a mohlo by dojít i k úrazu. [5]

2.3 Ložiska

Požadavky na vlastnosti otáčení rukávů jsou závislé vzhledem k použití osy. Například v silovém trojboji není kladen velký důraz na rychlou, hladkou rotaci. V případě vzpírání tomu je ale právě naopak z důvodu explozivního způsobu cvičení. K uložení rukávů na tyči se používají jehlová nebo kluzná ložiska. Konstrukční řešení existují s použitím jenom jehlových, jenom kluzných nebo i s kombinací obou typů ložisek. Právě výběrem určitého uložení je možné definovat, jak se bude rukáv otáčet. [6]

a) Jehlová ložiska (ukázka použití obr. 2.1):

- používána spíše na osy určené ke vzpírání, tudíž na olympijské osy. Olympijské osy mívají vyšší požadavky na kvalitu mechanických vlastností osy samotné i chod ložisek, které jehlová ložiska splňují. [6]

- Jehlová ložiska jsou zvláštním druhem válečkových ložisek. Relativně dlouhé válečky malého průměru, tzv. jehly, představují valivé prvky v těchto ložiscích. Jsou vhodná pro přenos velkých radiálních sil při nárazovém zatížení, jenž olympijské vzpírání vytváří. [7]



Obr. 2.1 Ukázka uložení na kombinaci jehlových a kluzných ložiskách (převzato z [6]).

b) Kluzná ložiska (ukázka použití obr. 2.2):

- jsou levnější než jehlová ložiska, ale nemají tak hladký a plynulý chod. [6]
- Na rozdíl od valivých ložisek, kluzná ložiska obepínají hřídel prostřednictvím pouzdra nebo pánve. Ložiskové pouzdro má tvar dutého válce, ve kterém se pohybuje hřídel. Kluzná ložiska se vyrábí z řady materiálů, na osy se nejčastěji používají pouzdra z bronzu. [3], [7]



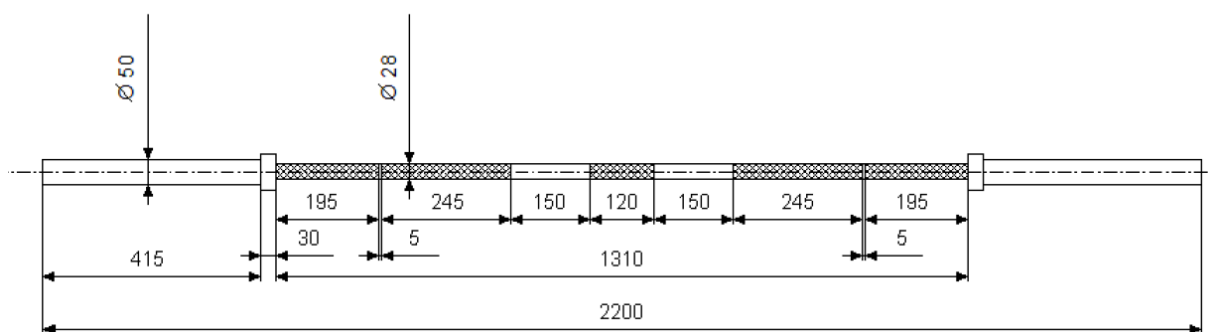
Obr. 2.2 Ukázka uložení na kluzných ložiskách (převzato z [6]).

2.4 Vlastnosti rýhování

Rýhování je důležitý prvek osy. Při použití rýhování na tyči dosáhne sportovec lepšího uchopení, díky zvětšení tření mezi rukama a tyčí. Vzor rýhování dnes používaný víceméně všemi výrobci byl inspirován vaflovačem ve švédské firmě na kuchyňské spotřebiče Eleiko. Tato firma se později stala průkopníkem ve světě vzpírání a dnes je jednou z největších výrobců posilovacích os a dalšího náčiní. [8]

Délkové rozměry rýhování na ose se mohou lišit na základě volby výrobce, které jsou často ovlivněny upřednostněními rozložení rýhování samotnými výrobci nebo také zákazníky. U olympijské osy splňující předpisy IWF jsou rozměry dané, viz obr. 2.3. [3], [9]

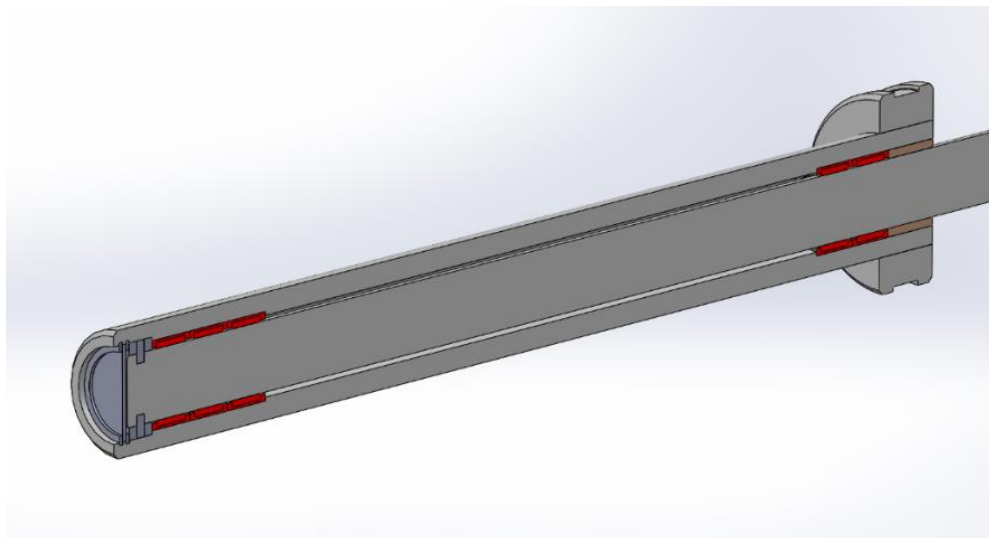
Na rozdíl od rozměrů, typ rýhování IWF předepsaný není. Pro silový trojboj se často používá agresivnější vzor, tzn. ostřejší hrany prvků vzoru. U vzpírání se sportovci více přiklání k jemnějšímu a hladšímu rýhování. Ke způsobu využití řešené olympijské osy je vhodnější typ určený ke vzpěračské disciplíně. [3], [10]



Obr. 2.3 Schéma rozměrů olympijské osy dle IWF (převzato z [9]).

3 KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ

Rukáv je uložený na pěti jehlových ložiskách a jednom kluzném ložisku. Axiální pohyb rukávu je zajištěn C-podložkami a pojistnými kroužky. C-podložky jsou uloženy v drážce na tyči viz obr. 3.1.



Obr. 3.1 Model uložení.

Vyráběná olympijská osa se skládá ne jenom z dílů vlastní výroby, ale taky z dílů, které jsou nakupovány nebo vyráběny na zakázku v externí firmě.

3.1 Nakupované díly

Seznam nakupovaných dílů je uveden v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Seznam nakupovaných dílů.

Název	Počet kusů na výrobu jedné Olympijské osy	Obrázek
Pojistný kroužek pro díry ČSN 02 2931 – 38 x 1,5 [11]	4	
Podložka Vyrobená na objednávku podle výkresové dokumentace	4	
C-podložka Vyrobená na objednávku podle výkresové dokumentace	4	

Název	Počet kusů na výrobu jedné Olympijské osy	Obrázek
Koncová krytka Vyrobená na objednávku podle výkresové dokumentace	2	
Jehlové ložisko SKF HK 2820 [12]	10	
Kluzné pouzdro CuSn10 Vyrobené 28x35 – 25	2	

3.2 Vyráběné díly

Seznam vyráběných dílů je uveden v tab. 3.2.

Tab. 3.2 Seznam vyráběných dílů.

Název	Počet kusů na výrobu jedné Olympijské osy	Obrázek
Tyč	1	
Rukáv	2	
Doraz	2	

4 VOLBA MATERIÁLU

Důležitost, a to co ovlivní volba materiálu je popsáno v kapitole 2.1. V této kapitole je vybrán materiál jak pro tyč, tak pro rukáv a doraz.

4.1 Materiál tyče

Volba materiálu se řídí podle jeho mechanických vlastností. Světoví výrobci používají k výrobě olympijských os (os ke vzpírání) materiály s pevností v tahu (*tensile strenght*) okolo 1450 MPa (210 000 psi). Průzkum používaných pevností v tahu zahraničními i domácími výrobci, respektive prodejci je uveden v tab. 4.1.

Tab. 4.1 Pevnosti v tahu os různých výrobců.

Výrobce (prodejce)	Model osy	Uváděné určení	Pevnost v tahu [MPa]/[psi]
Eleiko (Švédsko) [13]	Eleiko IWF Weightlifting Competition Bar, NxG 20kg Men	Vzpírání (Olympic weightlifting)	1480/215 000
Rogue Fitness (USA) [14]	Rogue olympic wl bar - stainless	Vzpírání (Olympic weightlifting)	1380/200 000
Ivanko (USA) [15]	OBS-20KG	Neuvedeno	1503/218 000
Strong Gear (ČR) [16]	Olympijská osa Strongest men - nerezová ocel	Těžké olympijské vzpírání, Crossfit	1550/225 000
Frinde Sport (USA) [17]	20kg Men's Olympic Weightlifting Bar by Fringe Sport	Vzpírání (Olympic weightlifting)	1490/216 200

Hodnoty jsou převzaty ze stránek výrobců, resp. prodejců.

Podle průzkumu je třeba hledat materiál s „tensile strenght“ přibližně 210 000 psi.

Vhodný materiál by po tepelném zpracování měl teoreticky splňovat tyto mechanické vlastnosti:

- mez pevnosti v tahu $R_m=1\,450$ MPa,
- mez kluzu v tahu $R_e=1\,250$ MPa.

V předpisech IWF je uvedeno: „vyrobena z chromové oceli“ (*manufactured from chromed steel*), což znamená, že materiál musí být buďto z nerezové oceli nebo musí být povrchově upraven galvanickým pochromováním. [9]

V případě volby materiálu z nerezové ocele by nebylo potřeba povrchové úpravy, ale z důvodu vysoké ceny, tento druh materiálu nebude použit k výrobě. Díky vysokým nárokům na mechanické vlastnosti je zvolen materiál z pružinové ocele. Seznam potenciálních materiálů je uveden v tab. 4.2. [18]

Tab. 4.2 Mechanické vlastnosti vybraných pružinových ocelí. [18]

Materiál (EN 10089)	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]
54SiCr6	1300	1450–1750
61SiCr7	1400	1550–1850
51CrV4	1200	1350–1650
52CrMoV4	1300	1450–1750

Pro výrobu olympijské osy byl zvolen materiál 52CrMoV4.

4.2 Materiál rukávu a dorazu

Rukávy a dorazy nepodléhají takovému namáhání, jako tyč, tudíž mohou být vyrobeny z běžných konstrukčních ocelí s galvanickým pochromováním nebo z nerezových ocelí.

Pro výrobu dílů byl zvolen materiál 11 523.4 ČSN 42 0002 (S355JO EN 10025). [19]

5 POVRCHOVÁ ÚPRAVA

Povrch posilovacích os se upravuje řadou metod nebo se nechává bez úpravy. Povrchová úprava ovlivní pocit při úchopu a cvičení s osou souvisící i s ovlivněním rýhování mimo dojem ze samotného povrchu. [20]

Povrchovou úpravu je možné vynechat, ale pokud osa není vyrobená z nerezové oceli, materiál bude rezivět, čímž se zhorší nejenom jeho vzhled, ale i vlastnosti. Neupravený povrch je tedy nutné často čistit, ovšem i přes pravidelnou péči, materiál po čase změni barvu, což může být problém. [21]

Dalšími typy úprav mohou být například alkalické černění nebo zinkování. Hlavní výhoda alkalického černění je zachování pocitu z rýhování a materiálu jako takového. Zinkování nabízí lepší ochranu proti korozi vůči černění, ale ovlivní rýhování. Obě metody jsou levnější než galvanické chromování. [22], [23]

Podle IWF musí být materiál, pokud se nejedná o nerezovou ocel, galvanicky pochromován. [9]

5.1 Elektrochemické (galvanické) vylučování kovových povlaků

Galvanické chromování je povrchová úprava materiálu patřící do skupiny elektrochemického (galvanického) vylučování kovových povlaků. Elektrochemická metoda je založena na principu elektrolýzy. Rozpustná anoda za přítomnosti jednosměrného proudu uvolňuje kladné ionty kovu do elektrolytu, vodivého roztoku, které se na katodě, respektive na upravované součásti, vylučují ve formě čistého kovu. Elektrolyt se skládá z vylučovaného kovu a vodící soli pro zvýšení elektrické vodivosti. Pro pochod galvanického pokovení platí Faradayovy zákony. [24], [25]

Pro získání kvalitního a trvalého povlaku s požadovanými vlastnostmi je nutné povrch součásti před samotnou povrchovou úpravou připravit. Příprava povrchu se skládá z mechanického očištění, odmašťování a moření. Očištění slouží k odstranění velkých i jemných nečistot. Odmaštění se provádí za účelem odstranění tuků, prachových částic, kovových třísek a vody. Cílem moření je zbavit se okují, korozních produktů a naleptání povrchu součásti. [25], [26]

5.2 Galvanické chromování

Díky výborným chemickým a fyzikálním vlastnostem chromového povlaku jako je odolnost vůči korozi a odolnost vůči mechanickému opotřebení je tato povrchová úprava vhodná k aplikaci olympijské osy. Povlak osu ochrání před účinky agresivního lidského potu a opotřebení vzniklého během cvičení. [24]

V případě galvanického chromování anoda není rozpustná. Chrom je získán z elektrolytu ve formě aniontů z kyseliny chromové. Existuje několik skupin chromování: dekorativní, tvrdé, mikrotrhlinové a například černé. Na povrchovou úpravu osy bude použito tvrdé chromování. [25]

Chromovány budou díly tyč a svarek. Povrchová úprava bude provedena na zakázku v externí firmě.

6 VOLBA POLOTOVARU

Polotovár je výchozí surovina, ze které se zhotoví daná součást. Volba se řídí především ekonomickým hlediskem. Pro dosažení minimálních nákladů na výrobu, polotovár musí splnit tyto podmínky:

- Přídavky na obrábění musí být optimální, což znamená že se musí co nejvíce podobat tvarem a rozměry výsledné součásti.
- Spotřeba materiálu má být minimální.
- Vynaložená práce na výrobu má být minimální. [27]

Tab. 6.1 uvádí výběr polotovarů pro vyráběné součásti.

Tab. 6.1 Seznam polotovarů.

Název dílu	Materiál	Typ polotovaru	Rozměry	Norma	Přesnost
Tyč	52CrMoV4	Tyč kruhová	Ø28–4400	ČSN 42 5510	h7
Rukáv	11 523	Trubka kruhová	TRØ50x9–6000	ČSN 42 6711	h9
Doraz	11 523	Trubka kruhová	TRØ80x15–3000	ČSN 42 6711	h9

6.1 Dělení polotovaru



Obr. 6.1 Pásová pila ARG 250. [14]

Univerzální pásová pila ARG 250 (viz obr 6.1) umožňuje využití při řezání profilů a středně velkých plných materiálů. Rameno pilového pásu se zvedá ručně, posuv do řezu je prováděn vlastní vahou ramene s možností jemné plynulé regulace škrťcím ventilem olejového tlumiče. Po dokončení řezu se pohon pilového pásu automaticky vypne. Pro snadné zvedání ramene je stroj vybaven nastavitelnými tažnými pružinami, umožňujícími nastavení optimální síly, potřebné pro zvednutí ramene dle

charakteru řezaného materiálu. Využívaný úhel řezu je 90° . Posuv materiálu je prováděn ručně. Technické parametry pásové pily jsou uvedeny v tab. 6.2. [28]

Tab 6.2 Technické parametry pásové pily ARG 200 PLUS. [28]

Parametr	jednotka	Hodnota
Výkon hlavního motoru	kW	0,9/1,4
Výkon motoru čerpadla	kW	0,05
Rychlost pásu	m.min ⁻¹	40/80
Pracovní výška svěráku	mm	910
Nádrž chladicí kapaliny	l	15
Rozměry stroje (min.)	mm	1680 x 750 x 1430
Rozměry stroje (max.)	mm	1870 x 1530 x 1980
Hmotnost stroje	kg	320
Max. průměr materiálu kruhového průřezu pro úhel řezu 90°	mm	250

7 VOLBA STROJNÍHO VYBAVENÍ

Vyráběná součást je technologicky jednoduchá, tudíž je možné výrobu realizovat na klasickém konvenčních strojích při splnění tolerančních nároků, za minimální vkladové náklady. Se správnou obsluhou a pravidelným servisem, lze dosáhnout dlouhodobé kvality výroby.

Modernizace a částečná automatizace je samozřejmě možná. Strojní vybavení je zvoleno ve dvou variantách. Jedna varianta je pro účely konvenční výroby a druhá jako modernizovaná výroba pomocí CNC stroje. Pásová pila sloužící k dělení materiálu je použita pouze v konvenční metodě. Svářečka je pro obě varianty stejná, tudíž jak pro tradiční, tak pro modernizovanou výrobu. Za jakých podmínek se modernizace vyplatí, vůči konvenční výrobě, je řešené v kapitole Technicko-ekonomické zhodnocení.

Stroje jsou zvolené pouze k účelům této bakalářské práce a nenachází se v žádném reálném strojním parku.

7.1 OMI 385

Na sváření bude použito OMI 385 poloautomat pro svařování v ochranné atmosféře MAG (viz obr. 7.1). Používaný hořák bude Svařovací hořák MB 15 AK-3M. Technické parametry svářečky jsem zapsány v tab. 7.1. [29]



Obr. 7.1 OMI 385 Svářecí poloautomat [29]

Tab. 7.1 Technické parametry OMI 385 Svářecí poloautomat. [29]

Parametr	jednotka	Hodnota
Hmotnost	kg	95
Příkon	kW	14
Jištění	A	32
Napájecí napětí	V	3x400
Rozsah svařovacího proudu	A	25–350
Rychlost posuvu drátu	m.min ⁻¹	5–20
Maximální hmotnost cívky	Kg	18

Jako svařovací drát bude použit ESAB OK Autorod 12.51 o průměru 1 mm. Jedná se o poměděný drát pro svařování nelegovaných ocelí v ochranných atmosférách plynů Ar/20CO₂ nebo čistém CO₂. Při svařování bude použita ochranná atmosféra směsného plynu Ar + 20 % CO₂. [30], [31]

7.2 Univerzální hrotový soustruh TRENS řady SN 50 C

Soustruh kategorie SN 50 C (viz obr. 7.2) je určen především pro obrábění hřídelových a přírubových součástí v kusové a sériové výrobě. Z technologického hlediska je stroj vhodný pro obrábění vnitřních i vnějších válcových ploch. Možnost použití narážek umožňuje přesné soustružení v nastavené délce. Technické parametry soustruhu jsou uvedeny v tab. 7.2. [32]



Obr. 7.2 Univerzální hrotový soustruh „TRENS“ řady SN 50 C. [32]

Tab. 7.2 Technické parametry soustruhu SN 71 C. [32]

Parametr	jednotka	Hodnota
Oběžný průměr nad ložem	mm	500
Oběžný průměr nad suportem	mm	270
Oběžný průměr nad vybráním lože	mm	700
Vrtání vřetene	mm	52
Vnitřní kužel	/	Morse 6
Otáčky vřetene/Počet stupňů	min ⁻¹	22–2000/12
Vzdálenost mezi hroty (VH)	mm	1000–1500–2000
Zdvih příčného suportu	mm	300
Zdvih nožového suportu	mm	140
Rychloposuv podélný/příčný	mm.min ⁻¹	3000/1500
Výkon hlavního motoru	kW	5,5
Průměr / zdvih pinoly koníku	mm	70/180
Hmotnost stroje podle VH	kg	1685–1785–1890

7.3 CNC horizontální soustružnické centrum SL 60-2S

Soustruhy řady SL (viz obr. 7.3) jsou horizontální soustružnické centra s možností protivřeten, hnaných nástrojů, hydraulických lunet, C osy a Y osy. Stroj disponuje řídicími systémy Fanuc nebo Siemens. Protivřetenem výrazně zkrátí výrobní časy a umožní nepřerušovanou výrobu součástí. Technické parametry jsou uvedeny v tab. 7.3. [33]



Obr. 7.3 CNC soustruh SL 60-2S s protivřetenem. [33]

Tab. 7.3 Technické parametry CNC horizontálního soustružnického centra SL 60-2S. [33]

Parametr		jednotka	Hodnota
Max. oběžný průměr		mm	580
Max. oběžný průměr nad ložem		mm	450/350 (Y osa)
Průměr sklíčidla		mm	254
Max. průměr tyčového materiálu		mm	76,5
Kužel na vřetenu		/	A2–8
Průchod vřetenem		mm	86
Otáčky vřetena		min ⁻¹	3500
Výkon vřetena		kW	15/18,5
Protivřetenem	Průměr sklíčidla	mm	203,2 (254)
	Max. průměr tyčového materiálu	mm	51 (76,5)
	Kužel na vřetenu	/	A2–6 (A2–8)
	Průchod vřetenem	mm	66
	Otáčky vřetena	min ⁻¹	4500 (3500)
	Výkon vřetena	kW	11/15
Počet nástrojů v nástrojové hlavě		/	12
Pojezd v ose X		mm	250
Max. délka obrobku		mm	1000
Rychloposuv		m.min ⁻¹	až 18
Výkon pohonu v ose X		kW	3
Výkon pohonu v ose Z		kW	4
Hmotnost stroje		kg	6500
Rozměry stroje		mm	2100–2100–4400

8 VOLBA NÁSTROJŮ

Nástroje a pomůcky jsou zvoleny na základě potřeb technologie výroby součástí. Volba je rozdělena pro účely konvenční výroby a CNC výroby.

8.1 Konvenční

Nástroje pro konvenční výrobu budou použity na univerzálním hrotovém soustruhu Trens SN 50 C a pásové pile ARG 250. Zvolené nástroje a pomůcky jsou uvedeny v tab. 8.1 a 8.2.







Tab. 8.1 Seznam nástrojů pro konvenční výrobu. [28], [34], [35], [36]

Číslo nástroje	Schéma	Název	Výrobce	Označení (katalogové č.)
N11		Pilový pás	Pilous	Maxtech 531 M51 5/8 2710 x 27 x 0,9
N12		Stopkové nástroje T-Max P pro soustružení	Sandvik	SSDCR 2020K 12
		VBD		SCMT 12 04 12- PR 4325
N13		Vyvrtávací tyč CoroTurn 107 pro soustružení	Sandvik	A20S-SCLCR 09-R
		VBD		CCMT 09 T3 12- PR 4325
N14		CoroCut 1-2 vyvrtávací tyč pro zapichování	Sandvik	RAG123D04- 16B
		VBD		N123D2-0150- 0001-GF 1125
N15		Stopkový nástroj CoroCut 1-2 pro upichování a zapichování	Sandvik	RF123H25- 2525BM
		VBD		N123H2-0400- 0004-TF 4325
N16		Tvářecí rýhování	OCTOPUS TOOLS	M7N 20.08.20
		Rýhovací kolečko		22070210
		Rýhovací kolečko		22070310
N17		Vrták středící 60°- tvar A	Stimzet	A100200V000S

8.2 CNC

Nástroje a pomůcky pro CNC výrobu budou použity na CNC soustruhu SL 60-2S. Zvolené nástroje a pomůcky jsou uvedeny v tab. 8.3 a 8.4.

Tab. 8.3 Seznám nástrojů pro CNC výrobu. [34], [35]

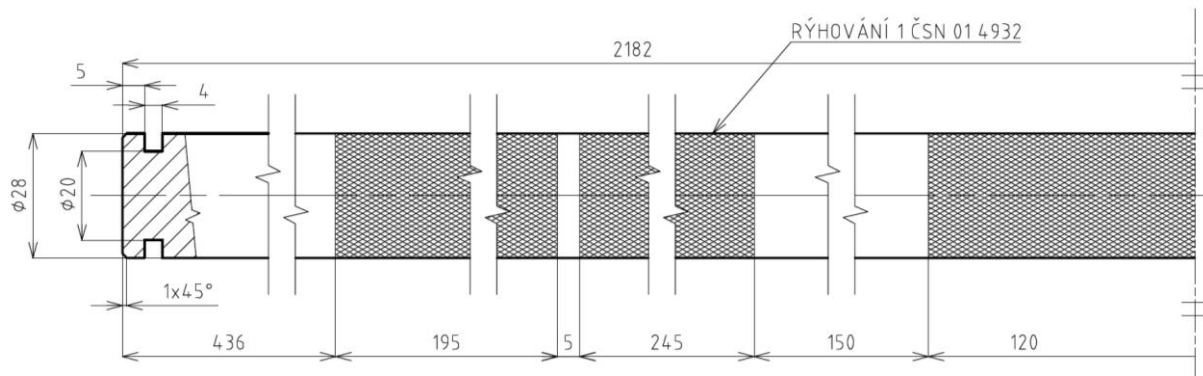
Číslo nástroje	Schéma	Název	Výrobce	Označení (katalogové č.)
N21		Stopkové nástroje T-Max P pro soustružení	Sandvik	DCLNL 2525M 16
		VBD		CNMG 16 06 12-QM 4305
N22		Vyvrtávací tyč CoroTurn 107 pro soustružení	Sandvik	A20S-SCLCR 09-R
		VBD		CCMT 09 T3 12-PR 4315
N23		CoroCut 1-2 vyvrtávací tyč pro zapichování	Sandvik	RAG123D04-16B
		VBD		N123D2-0150-0001-GF 1125
N24		Stopkový nástroj CoroCut 1-2 pro upichování a zapichování	Sandvik	RF123H25-2525BM
		VBD		N123H2-0400-0004-TF 4325
N25		Stopkový nástroj CoroCut 1-2 pro upichování a zapichování	Sandvik	RF123H25-2525BM
		VBD		N123H2-0400-0003-CR 3115
N26		Tvářecí rýhování	OCTOPUS TOOLS	M7N 20.08.20
		Rýhovací kolečko		22070210
		Rýhovací kolečko		22070310

9 TECHNOLOGIČNOST SOUČÁSTI

Součást Olympijská osa se skládá z pěti hlavních dílců (tyč, dva rukávy, dva dorazy) a několika dalších normovaných konstrukčních prvků.

a) Tyč

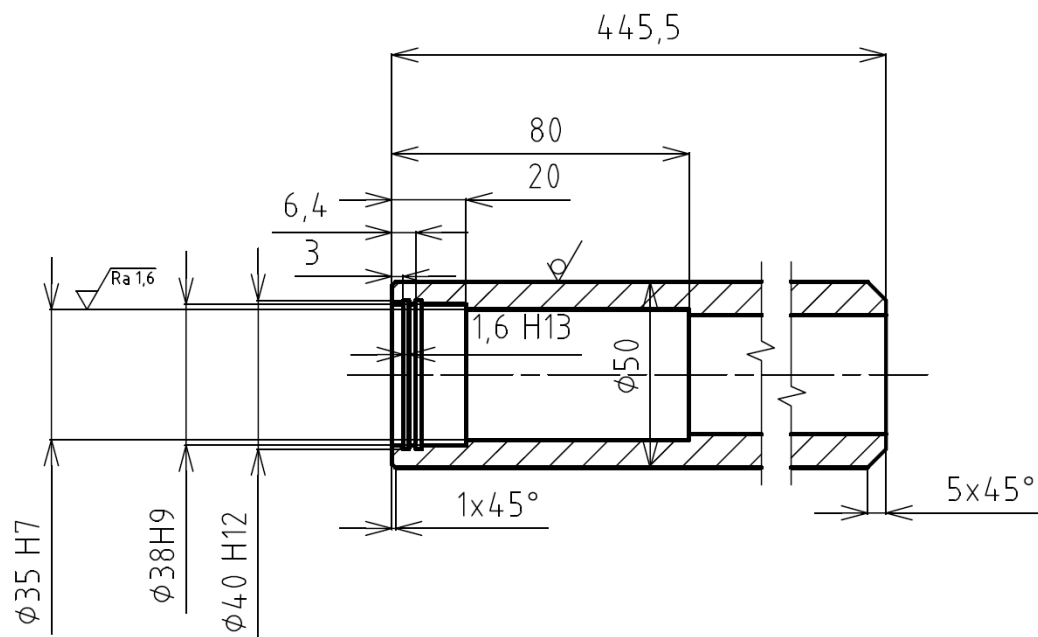
Základním částí celé sestavy je kruhová tyč o průměru 28 mm a délce 2190 mm (obr. 9.1). Díl je vyroben v přesnosti h7, která zajišťuje potřebnou přímost. Na tyči se nacházejí na koncích dvě drážky pro C-podložky. Čela tyče jsou opatřena zkosením. Ve střední části pláště se nachází rýhování. Jedná se o tvarově jednoduchou součást.



Obr. 9.1 Rozměry tyče (viz příloha 3).

b) Rukáv

Tento díl je tvarově středně jednoduchá rotační součást. Osou prochází stupňovitá díra se třemi průměry a dvěma drážkami na pojistné kroužky. Díra Ø35 mm pro ložiska je vyrobena v přesnosti H7 o délce 60 mm. Délka dílu je 445 mm s vnějším průměrem 50 mm. Na obou koncích konci se nachází zkosení (obr. 9.2). Rukáv je svařen s dorazem dvěma svary.



Obr. 9.2 rozměry rukávu (viz příloha 1).

Rotační tvarově jednoduchá součást přivařená na rukáv. Dílem dlouhým 30 mm o průměru 80 mm prochází díra o průměru 50 mm. Díra má z jedné strany zkosení sloužící jako příprava na svar (obr.9.3). Doraz je přivařen k rukávu.



Díl svarku je rotační středně složitá součást. Svarek tvoří díly rukáv a doraz. Na součásti se nachází dva svary. Jeden koutový o rozměru $a=5\text{ mm}$ a jeden V-svar o rozměru $s=5\text{ mm}$ (obr. 9.4). Délky svarů jsou dány obvodem součásti v místě spojů, tedy přibližně 157 mm. Metoda k provedení je MAG (135) pomocí vybraného stroje a příslušenství. Koutový svar bude proveden v poloze PB (vodorovná šikmo shora) a V-svar v poloze PA (vodorovná shora) dle ČSN EN ISO 6947. Parametry svařování jsou uvedeny v tab. 9.1. [31]

Název svaru	Typ přenosu kovu	Svařovací proud [A]	Svařovací napětí [V]	Rychlost podávání drátu [m.min ⁻¹]
Koutový svar	Zkratový	80–180	18–22	5–15
V-svar	Zkratový	80–180	18–22	5–15



10 VÝPOČET STROJNÍHO ČASU

Pro účely technicko-ekonomického zhodnocení je třeba stanovit strojní časy jednotlivých operací výroby. Mezi potřebné metody obrábění pro výrobu součástí patří soustružení, řezání a svařování. Svařování je pro obě varianty (konvenční, CNC) stejné, není tedy třeba k porovnání počítat strojní čas metody.

10.1 Soustružení

Pro vypočítání strojního času soustružení je potřeba následujících vzorců.

Výpočet dráhy nástroje: [37]

$$L = l + l_n + l_p \quad (9.1)$$

L [mm] – délka dráhy nástroje

l [mm] – délka soustružené plochy

l_n [mm] – délka náběhu

l_p [mm] – délka přeběhu

Vzorec pro stanovení strojního času soustružení válcové plochy: [37]

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} \quad (9.2)$$

t_{AS} [min] – jednotkový strojní čas

i [-] – počet operací

n [min⁻¹] – otáčky obrobku

f [mm] – posuv na otáčku

Vzorec pro stanovení strojního času soustružení čelní plochy při konstantních otáčkách: [38]

$$t_{AS} = \frac{[(D_1 + 2 \cdot l_n) - (D_2 - 2l_p)] \cdot i}{2 \cdot n \cdot f} \quad (9.3)$$

D_1 [mm] – maximální průměr

D_2 [mm] – minimální průměr

Vzorec pro stanovení strojního času soustružení čelní plochy konstantní řeznou rychlostí [38]

$$t_{AS} = \frac{[(D_1 + 2 \cdot l_n)^2 - (D_2 - 2 \cdot l_p)^2] \cdot \pi \cdot i}{4 \cdot 10^3 \cdot v_c \cdot f} \quad (9.4)$$

v_c [m.min⁻¹] – řezná rychlost

10.2 Řezání

Optimální řezné podmínky a strojní časy jsou zjištěny experimentálně.

11 NÁVRH KONVENČNÍ TECHNOLOGIE VÝROBY

V této kapitole je navrhována konvenční technologie výroby jednotlivých dílů olympijské osy. Výroba skládající se z dělení materiálu, soustružení a svařování bude probíhat na vybraných strojích, tj. univerzální hrotový soustruh Trens řady 50 C, pila ARG 250 a svářečka OMI 385.

Operace soustružení jsou realizovány za konstantních otáček. Délky náběhů a přeběhů jsou 1 mm. Strojní časy jsou vypočítány podle vzorce (9.2) pro soustružení válcových ploch a podle vzorce (9.3) pro soustružení čelních ploch. Strojní časy operací sražení hran jsou určeny podle výběrů z normativu [39]. Řezné podmínky jsou určeny podle [34], [35], [36].

11.1 Tyč

Polotovar pro tyč je nařezán na délku 2200 mm a poté obroben na soustruhu. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 11.1.

Tab. 11.1 Řezné podmínky konvenční výroby tyče.

Proces	Nástroj	V_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm/-]	t_{AS} [min]
Řezání	N11	40	-	-	-	-	0,78
Zarovnat čelo	N12	-	2000	0,45	2,10	-/4	0,07
Dokončit čelo	N12	-	2000	0,35	1,60	-/1	0,03
Srazit hranu 1x45°	N12	-	2000	Ruční	1,00	2/1	0,01
Soustružit drážku	N15	-	2000	0,12	4,00	-/1	0,07
Vyvrtat důlek	N17	12	2000	Ruční	-	-	0,25
Rýhovat	N16	26	300	0,11	0,80	1000/1	30,31
Zarovnat čelo	N12	-	2000	0,45	3,20	-/2	0,04
Dokončit čelo na délku 2182 mm	N12	-	2000	0,35	1,60	-/1	0,03
Srazit hranu 1x45°	N12	-	2000	Ruční	1,00	2/1	0,01
Soustružit drážku	N15	215	2000	0,12	4,00	-/1	0,07

11.2 Rukáv

Polotovár pro rukáv je nařezán na délku 454 mm a poté obroben na soustruhu. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 11.2.

Tab. 11.2 Řezné podmínky konvenční výroby rukávu.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm/-]	t_{AS} [min]
Řezání	N11	40	-	-	-	-	0,48
Zarovnat čelo	N12	-	2000	0,30	3,0	-/1	0,02
Dokončit čelo	N12	-	2000	0,20	1,5	-/1	0,03
Srazit hranu 1x45°	N12	-	2000	Ruční	1,0	2/1	0,01
Soustružit vnitřní válnovou plochu Ø35 mm	N13	220	2000	0,25	1,5	81/1	0,17
Soustružit vnitřní válnovou plochu Ø38 mm	N13	240	2000	0,30	1,50	21/1	0,04
Soustružit vnitřní drážku	N14	230	1820	0,07	1,00	1,6/1	0,02
Soustružit vnitřní drážku	N14	230	1820	0,07	1,00	1,6/1	0,02
Zarovnat čelo na délku 445,5 mm	N12	-	2000	0,24	2,00	-/2	0,05
Srazit hranu 5x45°	N12	-	2000	Ruční	5,00	6/1	0,04

11.3 Doraz

Polotovár pro doraz je nařezán na délku 36 mm a poté obroben na soustruhu. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 11.3.

Tab. 11.3 Řezné podmínky konvenční výroby doraz.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Řezání	N11	40	-	-	-	-	0,79
Zarovnat čelo	N12	-	2000	0,20	1,25	-/2	0,09
Srazit vnitřní hranu 5x45°	N13	-	2000	Ruční	5,00	6/1	0,1
Zarovnat čelo na délku 31 mm	N12	-	2000	0,20	1,25	-/2	0,09

11.4 Svarek

Svarek vznikne svařením rukávu a dorazu. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 11.4.

Tab. 11.4 Řezné podmínky konvenční výroby svarku.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Soustružit vnitřní válcovou plochu Ø35 mm	N13	220	2000	0,25	1,50	66/1	0,17
Soustružit čelo s V-svarem na délku 445 mm	N12	-	2000	0,35	0,50	-/1	0,03
Soustružit čelo s koutovým svarem na délku dorazu 30 mm	N15	-	2000	0,35	0,50	-/1	0,03
Soustružit drážku	N15	220	900	0,15	2,00	14/1	0,14
Srazit hranu drážky 0,2x45°	N12	-	2000	Ruční	0,20	1,2/1	0,01
Srazit hranu drážky 0,2x45°	N12	-	2000	Ruční	0,20	1,2/1	0,01
Srazit hranu 2x45°	N12	-	2000	Ruční	2,00	3/1	0,04
Srazit hranu 2x45°	N12	-	2000	Ruční	2,00	3/1	0,04

12 NÁVRH CNC TECHNOLOGIE VÝROBY

Metoda výroby na CNC stroji vůči konvenční technologii zkrátí strojní časy, zlepší kvalitu produktu a produkci celkově zjednoduší. Při CNC výrobě nahradí hrotový soustruh, používaný při konvenční výrobě, právě CNC soustruh SL 60-2S s protivřetenem. Řezání polotovarů, vykonáváno na pásové pile v rámci konvenční výroby, je nahrazeno upichováním na soustruhu.

Operace soustružení jsou realizovány za konstantní řezné rychlosti. Délky náběhů a přeběhů jsou 1 mm. Strojní časy jsou vypočítány podle (9.2) pro soustružení válcových ploch a podle (9.4) pro soustružení čelních ploch. Řezné podmínky jsou určeny podle [34], [35].

12.1 Tyč

Polotovar tyče o délce 4400 mm je vsunut do soustruhu a NC program vyrobí bez přerušení 2 díly. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 12.1.

Tab. 12.1 Řezné podmínky CNC výroby tyče.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Zarovnat čelo	N21	200	-	0,35	1,80	-/2	0,021
Dokončit čelo a srazit hranu 1x45° (kontura)	N21	200	3500	0,35	2,40	17/1	0,012
Soustružit drážku	N24	215	-	0,12	4,00	-/1	0,009
Rýhovat	N26	45	510	0,08	0,80	1000/1	24,510
Upichování doporučený posuv	N25	195	-	0,18	4,00	14/1	0,020
Upichování snížený posuv	N25	195	-	0,05	4,00	2/1	0,001
Dokončit čelo na délku 2182 mm a srazit hranu 1x45° (kontura)	N24	200	3500	0,15	1	17/1	0,025
Soustružit drážku	N24	215	-	0,12	4,00	-/1	0,009

12.2 Rukáv

Polotovar rukávu o délce 6000 mm je vsunut do soustruhu a NC program vyrobí bez přerušení 13 dílů. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 12.2.

Tab. 12.2 Řezné podmínky CNC výroby rukávu.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Zarovnat čelo	N21	340	-	0,34	3,5	11/1	0,013
Dokončit čelo a srazit hranu 1x45° (kontura)	N21	350	3500	0,25	1	13/1	0,015

Soustružit vnitřní válcovou plochu Ø35 mm	N22	385	3500	0,25	1,5	81/1	0,093
Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Soustružit vnitřní válcovou plochu Ø38 mm	N22	418	3500	0,30	1,5	21/1	0,020
Soustružit vnitřní drážku	N23	230	1820	0,08	1,00	1,6/1	0,013
Soustružit vnitřní drážku	N23	230	1820	0,08	1,00	1,6/1	0,013
Upichování doporučený posuv	N25	195	-	0,18	4	10/1	0,035
Upichování snížený posuv	N25	195	-	0,045	4	2/1	0,001
Srazit hranu 5x45°	N25	240	2000	0,2	-	9/1	0,023

12.3Doraz

Polotovár dorazu o délce 3000 mm je vsunut do soustruhu a NC program vyrobí bez přerušení 81 dílů. Řezné podmínky a strojní časy jsou uvedeny v tab. 12.2.

Tab. 12.3 Řezné podmínky CNC výroby dorazu.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Zarovnat čelo a srazit vnitřní hranu 5x45° (kontura)	N21	447	3500	0,236	2	22/1	0,029
Upichování doporučený posuv	N25	195	-	0,180	4	15/1	0,090
Upichování snížený posuv	N25	195	-	0,045	4	2/1	0,009

12.4Svarek

Řezné podmínky a strojní časy pro obrobení svařených dílů jsou uvedeny v tab. 12.1.

Tab. 12.4 Řezné podmínky CNC výroby svarku.

Proces	Nástroj	v_c [m.min ⁻¹]	n [min ⁻¹]	f [mm]	a_p [mm]	L/i [mm]	t_{AS} [min]
Soustružit vnitřní válcovou plochu Ø35 mm	N22	380	3500	0,253	1,5	66/1	0,075
Soustružit drážku	N24	220	1000	0,2	2	14/1	0,070
Obrobení kontury	N24	220	-	0,15	0,5	53/1	0,255

13 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V technicko-ekonomickém zhodnocení jsou dvě navržené technologie výroby porovnány. Porovnáním se zjistí, jak velké výhody CNC soustruh přináší. Zhodnocení je zaměřeno na časovou úsporu a na návratnost investice při volbě metody CNC. Veškeré výpočty a výsledky jsou vztaheny k výrobě jednoho kusu olympijské osy a nákupu jedné sady nástrojů.

Výrobní náklady jednoho kusu [40]

$$N_c = N_s + N_v + N_n \quad (13.1)$$

N_c [Kč] – celkové náklady

N_s [kč] – náklady na strojní práci

N_v [kč] – náklady na vedlejší práci

N_n [kč] – náklady na nástroje

$$N_s = t_s \cdot N_{sm} \quad (13.2)$$

t_s [min] – celkový strojní čas

N_{sm} [kč] – náklady na minutu strojní práce

$$N_v = t_v \cdot N_{vm} \quad (13.3)$$

t_v [min] – celkový vedlejší čas

N_{vm} [kč] – náklady na minutu vedlejší práce (pro řešení $N_{vm} \approx N_{sm}$)

Celkový strojní čas konvenční, resp. CNC, výroby je výsledkem součtu jednotkových strojních časů t_{AS} vypočítaných v kapitole 11, resp. 12.

Celkový vedlejší čas konvenční výroby je dán součtem jednotlivých vedlejších časů získaných z normativ. Hodnoty časů jsou uvedeny v tab. 13.1. [39]

Tab. 13.1 Hodnoty výrobního času konvenční metody

	Celkový strojní čas t_s [min]	Celkový vedlejší čas t_v [min]	Celkový čas výroby [min]
Tyč	31,67	12,76	44,4
Rukáv	0,88	3,35	4,2
Doraz	1,07	3,20	4,3
Svarek	0,47	1,84	2,3
Suma	34,1	21,2	55,2

Vedlejší čas pro CNC výrobu je vyjádřen jako 10 % jednotkového strojního času. Výsledky jsou uvedeny v tab. 13.2. [41]

Tab. 13.2 Hodnoty výrobního času CNC metody

	Celkový strojní čas t_s [min]	Celkový vedlejší čas t_v [min]	Celkový strojní čas [min]
Tyč	24,61	2,73	27,34
Rukáv	0,23	0,03	0,25
Doraz	0,13	0,01	0,14
Svarek	0,40	0,04	0,44
Suma	25,36	2,82	28,18

Orientační ceny strojů a jejich náklady na minutu strojní práce jsou uvedeny v tab. 13.3. Náklady na minutu strojní práce pásové pily nejsou uvedeny, protože celkový strojní čas obsahuje čas práce pily, pro účely zjednodušení zde pila přispívá na náklady pouze svojí nákupní cenou.

Tab. 13.3 Orientační ceny strojů náklady na minutu strojní práce

Stroj	Orientační cena stroje [Kč]	Náklady na minutu strojní práce [Kč]
Pásová pila ARG 250	70 000	-
Univerzální hrotový soustruh TRENS SN 50 C	850 000	10,8
CNC horizontální soustružnické centrum SL 60 - 2S	2 500 000	14,2

Náklady na nástroje jsou uvedeny v tab. 13.4. [34], [35], [36]

Tab. 13.4 Náklady na nástroje

Nástroj	Cena [Kč]	Nástroj	[Kč]
N11	560	N21	2 886
N12	3 357	N22	3 755
N13	3 755	N23	5 030
N14	5 030	N24	4 303
N15	4 303	N25	4 170
N16	3 996	N26	3 996
N17	50	-	-
Náklady na nástroje Nn [Kč]	21 051	-	24 140

Hodnotu počátečních investic a jejich rozdílů je uveden v tab. 13.5.

Tab. 13.5 Počáteční investice

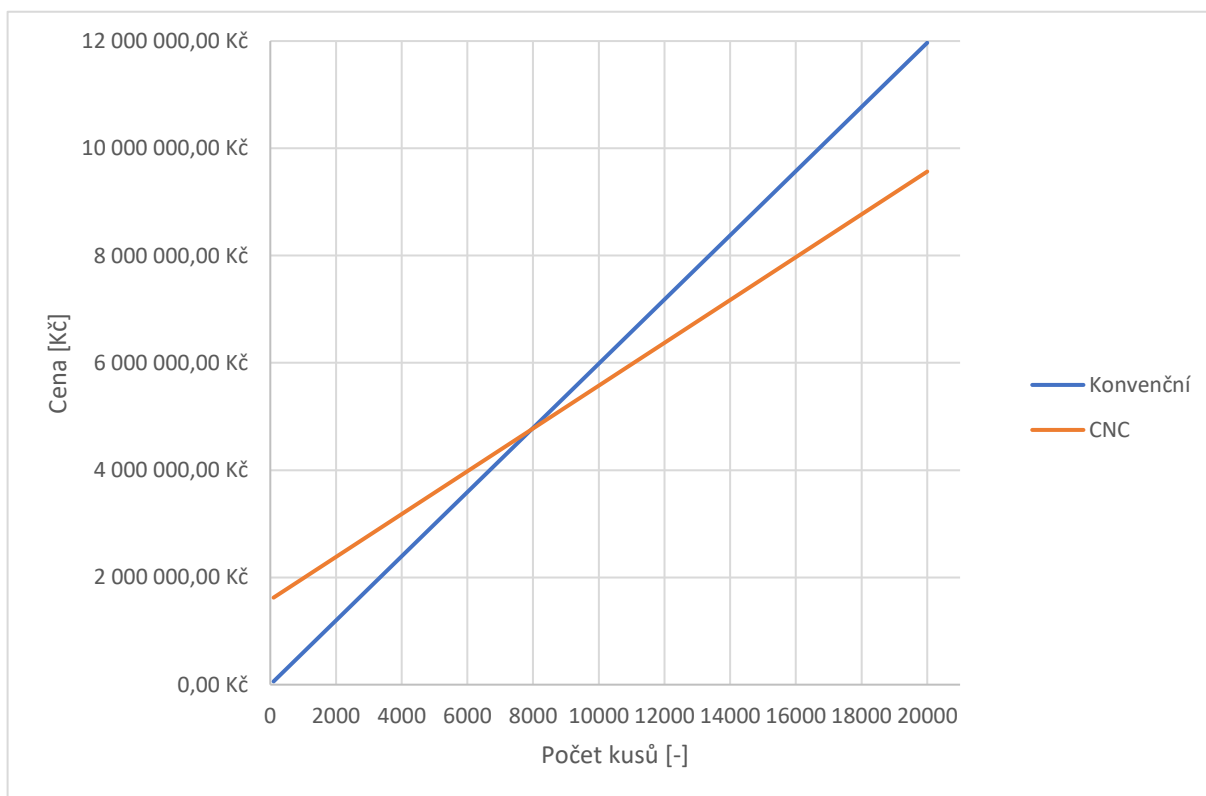
Metoda	Konvenční	CNC
Počáteční investice [Kč]	941 051	2 524 140
Rozdíl investic [Kč]	1 583 089,00 Kč	

Na obr. 13.1 je znázorněna závislost růstu výrobního času na zvyšujícím se počtu kusů. Z trendu funkcí lze pozorovat, jak rychle se časy dvou metod rozcházejí.



Obr. 13.1 Závislost času výroby na počtu kusů.

Na obr. 13.2 je znázorněna závislost růstu ceny na počtu kusů. Funkce popisující chování CNC výroby je na svislé ose posunuta směrem nahoru o hodnotu rozdílu vstupních nákladů mezi dvěma výrobními metodami.



Obr. 13.2 Závislost ceny na počtu kusů

Metoda konvenční má vyšší funkční růst než CNC. Je to zapříčiněno delším celkovým strojním časem výroby jednoho kusu olympijské osy.

Porovnáním dvou navržených metod je zjištěno, že při 7800 kusů se cena výroby pro metody vyrovná a typ CNC začíná být výhodnější.

14 ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo cílem navrhnout technologii výroby olympijské osy. Byly vypracovány dvě varianty technologií výroby, jedna konvenční a jedna realizovaná na CNC soustruhu. Zvolené metody byly na konci zhodnoceny a porovnány.

Bylo navrženo konstrukční řešení a definováno, jaké díly sestavy budou řešeny pro technologii výroby. Olympijská osa je složena z řešených dílů a to: tyč, rukáv, doraz a svarek. Ostatní díly, které jsou: podložky, ložiska, koncové krytky a pojistné kroužky, budou nakoupeny nebo vyrobeny na zakázku v externí firmě.

Materiály na díly byly zvoleny na základě požadovaných mechanických vlastností a charakteru použití. Pro tyč byla vybrána pružinová ocel 52CrMoV4 EN 10089. Na výrobu rukávu a dorazu byla zvolena konstrukční ocel 11 523.4 ČSN 42 0002. Polotovar pro tyč je kruhová tyč Ø28–4400, pro rukáv trubka TRØ50x9–6000 a pro doraz trubka TRØ80x15–3000.

Na základě technologičnosti a potřeb výroby součásti bylo zvoleno strojní vybavení. Toto vybavení je fiktivní a nenachází se v žádném strojním parku. Pro účely svařování byl vybrán OMI 385 poloautomat pro svařování v ochranné atmosféře MAG. Svářečka je využívána pro obě metody výroby. Konvenční výroba je realizována na pásové pile ARG 250 a univerzálním hrotovém soustruhu TRENS SN 50 C. Pro modernizovanou výrobu byl navrhnout horizontální CNC soustružnické centrum SL 60 - 2S. Nástroje a pomůcky byly zvoleny na základě potřeb technologie výroby součásti. Volba byla rozdělena pro účely konvenční a CNC výroby.

Technologické operace výroby byly zapsány společně s řeznými rychlostmi a strojními časy do tabulek. Uvedené hodnoty byly použity k ekonomicko-technickému zhodnocení.

Cílem technicko-ekonomického bylo porovnání dvou navržených metod výroby. Výsledkem zhodnocení bylo zjištění kdy začíná být metoda na CNC soustruhu výhodnější než metoda konvenční.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] Barbell. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. 2001 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Barbell>
- [2] BOLDY, Jake. What Are the Different Types of Barbells?. In: *BarBend* [online]. 55 Washington Street #322, Brooklyn, NY, 11201, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://barbend.com/different-types-barbells/>
- [3] Rogue Weightlifting Bars Explained. In: *Rogue Fitness* [online]. 2009 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=SuPyQR2Toms>
- [4] CHIU, Loren Z F. Mechanical Properties of Weightlifting Bars. *Journal of Strength and Conditioning Research* [online]. 2010, **24**(9), 2390-2399 [cit. 2019-05-23]. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181ecd359. ISSN 1064-8011. Dostupné z: <https://insights.ovid.com/crossref?an=00124278-201009000-00018>
- [5] MORRISON, Brandon. The Anatomy Of An Olympic Bar. In: *Lift Big Eat Big* [online]. b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://liftbigeatbig.com/the-anatomy-of-an-olympic-bar/>
- [6] SEBASTIAN, Susie. Bushing vs Bearing - Which Do You Choose?. In: *FringeSport* [online]. b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.fringesport.com/blogs/news/bushing-vs-bearing-which-do-you-choose>
- [7] SVOBODA, Pavel, Jan BRANDEJS a Jiří DVOŘÁČEK. *Základy konstruování*. Vydání šesté. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2015. ISBN 978-80-7204-921-9.
- [8] *Eleiko* [online]. Halmstad: ELEIKO GROUP AB, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.eleiko.com/en/home#gs.dbxwph>
- [9] IWF Technical and Competition Rules & Regulations 2019. *IWF - INTERNATIONAL WEIGHTLIFTING FEDERATION* [online]. 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: https://www.iwf.net/wp-content/uploads/downloads/2019/02/IWF_TCRR_01012019_v2.pdf
- [10] ARCHIBALD, Dresden. How Barbell Knurling Differs And How This Impacts Different Lifters. In: *Breaking Muscle* [online]. b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://breakingmuscle.com/fitness/how-barbell-knurling-differs-and-how-this-impacts-different-lifters>
- [11] *Doležal Pelhřimov s.r.o.* [online]. Pelhřimov, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.dolezal-pe.cz/>
- [12] *SKF* [online]. b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.skf.com/cz/index.html>
- [13] *STRENGTHWEAR* [online]. USA: Eleiko, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.strengthwear.us/>
- [14] *Rogue Fitness* [online]. Columbus (Ohio), 2010 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.roguefitness.com/>
- [15] *Ivanko* [online]. San Pedro (California): Ivanko Barbell Company, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://www.ivankobarbell.com/>
- [16] *StrongGear* [online]. Praha: StrongGear s.r.o., 2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.stronggear.eu/>
- [17] *Fringe Sport* [online]. Austin (Texas): Fringe Sport, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.fringesport.com/>

-
- [18] *Bohdan Bolzano s.r.o.* [online]. Hut'ská 126, 272 01 Kladno, Česká republika, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/>
- [19] STRÁNSKÝ, Lubomír. Konstrukční oceli. *Http://ime.fme.vutbr.cz/* [online]. Brno: FSI VUT, 2012 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/05%20-%20Konstrukcni%20oceli.pdf
- [20] TRACEY, Claire. Barbell Buying Guide: How to Choose the Right Weight Lifting Bar. In: *Origin Fitness* [online]. Newbridge, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://originfitness.com/knowledge-and-advice/barbell-buying-guide-how-to-choose-the-right-weight-lifting-bar/>
- [21] More Bar Questions. In: *Rogue Blog* [online]. Columbus (Ohio): Rogue Fitness, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://blog.roguefitness.com/2012/01/more-bar-questions/>
- [22] The Rogue Ohio Bar - How It's Made. In: *Rogue Fitness* [online]. 2009 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=QJiANZS0amY&t=69s>
- [23] BURGESS, Blaine. What Barbell Finish is Right For You?. In: *Bar Shield USA* [online]. b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://barshieldusa.com/blogs/gym-maintenance-weightlifting-tips/what-barbell-finish-is-right-for-you>
- [24] TUSHINSKIĚ, L. I. *Coated metal: structure and properties of metal-coating compositions*. New York: Springer, 2002. ISBN 3540431268.
- [25] KUBÍČEK, Jaroslav. Renovace a povrchové úpravy. *Odbor svařování a povrchových úprav FSI VUT v Brně* [online]. Brno: FSI VUT, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/hrp_renovace_a_povrchove_upravy_kubicek.pdf
- [26] RUML, Vladimír a Miloslav SOUKUP. *Galvanické pokovování*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981.
- [27] ZEMČÍK, Oscar. Technologické procesy. *Odbor technologie obrábění* [online]. Brno: FSI VUT, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TechnProcesy.pdf>
- [28] *Pilous* [online]. Brno, 2016 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.pilous.cz/>
- [29] *Svarecky-obchod.cz* [online]. Rožnov pod Radhoštěm: Stroje a vybavení, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.svarecky-obchod.cz/>
- [30] *ESAB* [online]. Colfax, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.esab.cz/cz/cz/index.cfm>
- [31] KUBÍČEK, Jaroslav. TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ -1. *Odbor svařování a povrchových úprav FSI VUT v Brně* [online]. Brno: FSI VUT, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_I_kubicek.pdf
- [32] *TST Servis, a.s.* [online]. Praha: TRENS SK, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.tstservis.cz/>
- [33] *Machine Group: Váš partner v obrábění* [online]. Vsetín: CNC stroje Machine Group, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.machinegroup.cz/>
- [34] *Sanvik Coromant* [online]. b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>
- [35] *Octopus Tools* [online]. Říčany: OCTOPUSTOOLS, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.octopustools.com/>
-

- [36] *Stimzet* [online]. Vsetín: M&V, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.stimzet.cz/>
- [37] KRŤÍŽ, Rudolf a Pavel VÁVRA. *Strojírenská příručka: 24 oddílů v osmi svazcích*. Vyd. 1. Praha: Scientia, 1996. ISBN 80-7183-024-0.
- [38] HUMÁR, Anton. TECHNOLOGIE I TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ – 1. část. *Odbor technologie obrábění* [online]. Brno: FSI VUT, b.r. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
- [39] *Jednotné normativy: Soustruhy s oběžným průměrem 500, 800 mm*. Praha: Federální ministerstvo strojírenství, 1979.
- [40] SEDLÁK, Josef. Ekonomika obrábění, produktivita a hospodárnost obrábění. *Odbor technologie obrábění* [online]. Brno: FSI VUT, b.r. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://moodle.vutbr.cz/pluginfile.php/396964/mod_resource/content/1/Ekonomika%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD%20produktivita%20a%20hospod%C3%A1rnost%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD_010_doc.%20Sedl%C3%A1k%20-%20studenti.pdf
- [41] *Jan Klačka – ústní sdělení*. Brno: Envites, 2019.

N_c [kč] – náklady na strojní práci

N_s [kč] – náklady na vedlejší práci

N_n [kč] – náklady na nástroje

$$N_s = t_s \cdot N_{sm} \quad (13.2)$$

t_s [min] – celkový strojní čas

N_{sm} [kč] – náklady na minutu strojní práce

$$N_v = t_v \cdot N_{vm} \quad (13.3)$$

t_v [min] – celkový vedlejší čas

N_{vm} [kč] – náklady na minutu vedlejší práce (pro řešení $N_{vm} \approx N_{sm}$)

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
IWF	-	International Weightlifting Federation (Mezinárodní vzpěračskou federací)
ČSN	-	Česká technická norma
R_m	MPa	Mez pevnosti v tahu
R_e	MPa	Mez kluzu v tahu
$R_{p0,2}$	MPa	Smluvní mez kluzu v tahu
EN	-	Evropská norma (<i>European Standard</i>)
ISO	-	Mezinárodní norma (<i>International Organization for Standardization</i>)
Cr	-	Chrom
Mo	-	Molybden
V	-	Vanad
CNC	-	Computer Numerical Control – počítačem řízený obráběcí stroj)
MAG	-	Metal Active Gas – Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu
VBD	-	Vyměnitelné břitová destička
L	mm	Délka dráhy nástroje
l	mm	Délka soustružené plochy
l_n	mm	Délka náběhu
l_p	mm	Délka přeběhu
t_{AS}	min	Jednotkový strojní čas
i	-	Počet operací
n	min^{-1}	Otáčky obrobku
f	mm	Posuv na otáčku
D_1	mm	Maximální průměr
D_2	mm	Minimální průměr
v_c	$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	Řezná rychlost
a_p	mm	Šířka záběru ostří
N_c	Kč	Celkové náklady
N_s	Kč	Náklady na strojní práci
N_v	Kč	Náklady na vedlejší práci
N_n	Kč	Náklady na nástroje
t_s	min	Celkový strojní čas
N_{sm}	Kč	Náklady na minutu strojní práce
N_{vm}	Kč	Náklady na minutu vedlejší práce
t_v	min	Celkový vedlejší čas

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Výkres součásti rukávu
Příloha 2	Výkres součásti dorazu
Příloha 3	Výkres součásti tyče
Příloha 4	Výkres součásti svarku
Příloha 5	Technologický postup, konvenční, tyč
Příloha 6	Technologický postup, konvenční, rukáv
Příloha 7	Technologický postup, konvenční, doraz
Příloha 8	Technologický postup, konvenční, svarek
Příloha 9	Technologický postup, CNC, tyč
Příloha 10	Technologický postup, CNC, rukáv
Příloha 11	Technologický postup, CNC, doraz
Příloha 12	Technologický postup, CNC, svarek

